МЕХАНИКА
MECHANICS



УДК 676.03(07) DOI 10.12737/18156

Влияние формы гофрированного картона на амортизирующие свойства упаковки*

И. Р. Антибас[1], С. А. Партко[2], А. Н. Сиротенко[3]**
[1, 2, 3]Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Effect of corrugated cardboard shape on the packing damping properties***

I. R. Antypas[1], S. A. Partko[2], A. N. Sirotenko[3]
[1, 2, 3]Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Целью работы является поиск таких форм гофрирования картона, которые позволили бы эффективно амортизировать ударную нагрузку на картонный лист — как вертикальную, так и горизонтальную.
Предмет исследования — эффективность амортизации картонной упаковки с сотовой структурой и альтернативной (с MS-профилем) под действием ударной нагрузки поперек и вдоль соты. В качестве задач проведенных изысканий рассматривались измерение и сравнение скорости деформации, а также способности поглощения ударной нагрузки образцов картонной упаковки со стандартным и альтернативным MS-гофрированием. Образцы находились под ударным воздействием. Амортизирующие свойства многослойной картонной упаковки размером 127×127 мм оценивались при следующих условиях: высота падения — 610 мм; скорость падения — 3,5 м/с; падающий вес — 12,5 кг; усилие сжатия — 340 Н. При этом регистрировались: сила сжатия; энергия удара; величина деформации. В результате проведенных экспериментов было установлено, что трех- и пятислойный образец с MS-профилем обладает лучшими амортизирующими свойствами (по сравнению с картоном со стандартной сотой такой же толщины). Применение семи- и девятислойного картона с MS-профилем нецелесообразно, ввиду незначительного преимущества по сравнению с трех- и пятислойным образцом.

Ключевые слова: картонная упаковка, сотовая структура, энергия удара, MS-профиль, амортизация, деформация.

The present work objective is searching for such forms of the cardboard corrugation which could effectively absorb the impact load on a cardboard sheet, both vertical and horizontal. The research subject is the depreciation efficiency of the cardboard package with a cell and an alternative (with MS-profile) structure by the action of shock across and along the honeycomb. Measurement and comparation of the deformation rate, as well as the shock absorption capacity of the sample cartons with the standard and alternative MS-corrugation are considered as the investigation tasks. The samples were under the impact force. Shock absorbing properties of the multilayer cardboard packaging in size of 127 × 127 mm were evaluated under the following conditions: drop height, 610 mm; impact speed, 3.5 m/s; falling weight, 12.5 kg; pressure load, 340 kg. In this case, pressing force, impact energy, deformation value is recorded. As a result of the experiments, it was found that a three- and five-layer sample with MS-profile has better shock absorbing properties (as compared to a standard cellular cardboard of the same thickness). The application of seven- and nine-layer cardboard with MS-profile is inappropriate due to a minor advantage over a three- and five-layer sample.

Keywords: cardboard packing, cellular structure, impact energy, MS-profile, depreciation, deformation.

Введение. Одно из важных условий сохранности упакованных продуктов — хорошие амортизирующие свойства тары. К упаковке предъявляются и такие требования, как технологичность изготовления, доступность, дешевизна и экологичность. Всем перечисленным требованиям удовлетворяет картон. Амортизирующие свойства такой тары зависят не только от толщины картонных листов, но и от их внутренней структуры [1]. Гофрированные картонные листы склеиваются в виде пчелиных сот, что позволяет компоновать плиты различной толщины [2, 3]. К перечисленным достоинствам такой упаковки следует добавить хорошую амортизацию нагрузки, которая действует вертикально картонному листу вдоль соты [4, 5].

*Работа выполнена в рамках инициативной НИР.
**E-mail: imad.antypas@mail.ru, parlana@spark-mail.ru, andsirotenko@yandex.ru
***The research is done within the frame of the independent R&D.

Недостатком картонной упаковки с сотовой структурой является ухудшение амортизирующих свойств, если вектор нагрузки направлен не вдоль соты, не перпендикулярно листу. Из-за многочисленных, не поддающихся учету факторов воздействие нагрузки на упаковку строго вдоль соты — редкий случай, чаще всего нагрузка действует под углом к соте. В этом случае упаковка может разрушиться и не защитит от удара продукты [6]. Приходится ограничивать полезную массу контейнера, чтобы при транспортировке или кантовании не повредить защищаемый продукт [7].

Цель исследования. Целью исследования был поиск таких форм гофрирования картона, которые позволили бы эффективно амортизировать ударную нагрузку на картонный лист — как вертикальную, так и горизонтальную.

Основная часть. Механические свойства новых и существующих образцов упаковочного картона исследовались на ударной испытательной машине Instron 9250HV [8, 9] в университете Алеппо (Сирия).

Все образцы картонной упаковки имели размер 127×127 мм. Толщина варьировалась:

— один слой (0,5 дюйма — 12,7 мм);
— два слоя (1 дюйм — 25,4 мм);
— три слоя (1,5 дюйма — 38,1 мм).

Рассматривались также случаи, когда количество слоев было больше трех.

Каждый образец длительное время сушился в камере при температуре 40 °C и перед использованием взвешивался. Масса всех испытанных образцов была одинакова. Каждый опыт по испытанию механических свойств повторялся 4 раза.

Постоянные силовые факторы опытов подобраны с учетом особенностей силового воздействия на упаковку при кантовке контейнера:

— высота падения — 610 мм;
— скорость падения — 3,5 м/с;
— падающий вес — 12,5 кг;
— усилие сжатия — 340 кг.

При испытании образцов стандартной картонной упаковки с сотовой структурой в зависимости от времени регистрировались: сила сжатия, энергия удара и величина деформации.

Полученные результаты испытаний для трехслойного образца общей толщиной 38,1 мм (каждый слой по 12,7 мм) показаны в табл. 1. Нагрузка действует вдоль соты.

Таблица 1

Результаты испытаний образца упаковки со стандартной сотовой структурой толщиной 38 мм

№	Максимальная нагрузка, Н	Деформация при максимальной нагрузке, мм	Энергия удара при максимальной нагрузке, Дж	Суммарная энергия удара, Дж	Скорость, м/с
1	232,4	29,7	35,59	59,12	3,5
2	255	26,9	44,46	60,36	3,51
3	255	29,5	50,36	60,3	3,51
4	235,3	29,7	47,51	58,81	3,5

Итак, при полной деформации образца (32 мм, т. е. 83 % от его общей толщины) нагрузка максимальна. Из графиков (рис. 1) видно, что в конце деформации имеет место сильный удар. Следует отметить, что для каждого образца опыт повторялся четыре раза, что отражено на рисунках (здесь и далее) кривыми синего, фиолетового, темно-зеленого и светло-зеленого цветов.



Рис. 1. Зависимости нагрузки и энергии удара от деформации образцов трехслойной упаковки общей толщиной 38,1 мм со стандартной сотовой структурой

Результаты испытаний двухслойных образцов упаковки общей толщиной 127 мм (толщина каждого слоя — 63,5 мм) представлены в табл. 2. Нагрузка действует вдоль соты.

Таблица 2

Результаты испытания образца упаковки со стандартной сотовой структурой толщиной 127 мм

№	Максимальная нагрузка, Н	Деформация при максимальной нагрузке, мм	Энергия удара при максимальной нагрузке, Дж	Суммарная энергия удара, Дж	Скорость, м/с
1	394,3	4,3	8,5	63,9	3,5
2	419,8	4,3	9	64,3	3,5
3	385,7	4,3	8,3	63,5	3,5
4	399,2	4,3	8,9	63,88	3,5

Графически зависимости отражены на рис. 2.

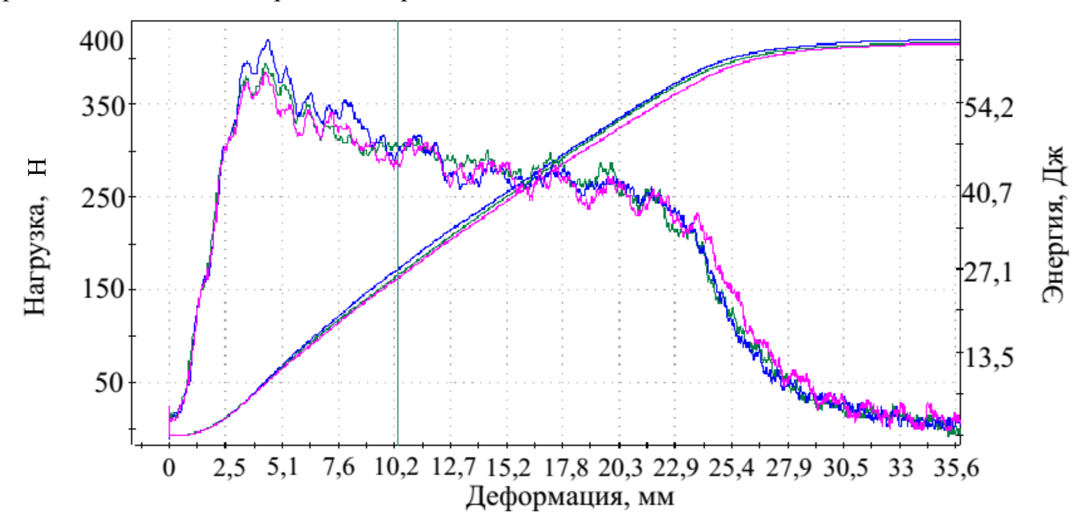


Рис. 2. Зависимости нагрузки и энергии удара от деформации образцов двухслойной упаковки общей толщиной 127 мм со стандартной сотовой структурой

Результаты показывают, что образец амортизировал энергию вертикального удара, деформировавшись при этом на 28 мм (22 % от общей толщины образца).

Испытания образцов картонной упаковки в три слоя (каждый слой толщиной 63,5 мм, общая толщина образца — 190,5 мм) показали худший результат. Вероятно, увеличение высоты соты (на треть по сравнению с предыдущим образцом) отрицательно повлияло на ее устойчивость.

Таким образом, при силовом воздействии вдоль соты лучшими амортизирующими свойствами обладает образец картонной упаковки в два слоя общей толщиной 127 мм (толщина каждого слоя — 63,5 мм).

Далее именно такая упаковка испытывалась для выяснения ее амортизирующих свойств при действии боковой нагрузки (поперек соты). Длина образцов составляла 160 мм. Цель испытаний — выявление наиболее рациональной структуры картона, одинаково эффективно амортизирующей как вертикальную, так и горизонтальную нагрузку.

Результаты представлены в табл. 3 и на рис. 3. Нагрузка действует поперек соты сначала с одной, а потом с другой стороны. В обоих случаях образцы деформировались полностью.

Таблица 3

Результаты испытания образца упаковки со стандартной сотовой структурой общей толщиной 127 мм

№	Максимальная нагрузка, Н	Деформация при максимальной нагрузке, мм	Энергия удара при максимальной нагрузке, Дж	Суммарная энергия удара, Дж	Скорость, м/с
1	214,5	134,62	59,34	71,3	3,5
2	213,8	133,12	58,75	70,8	3,2
3	214,3	134,43	59,29	71,1	3,3

На рис. 3 показан наихудший вариант.

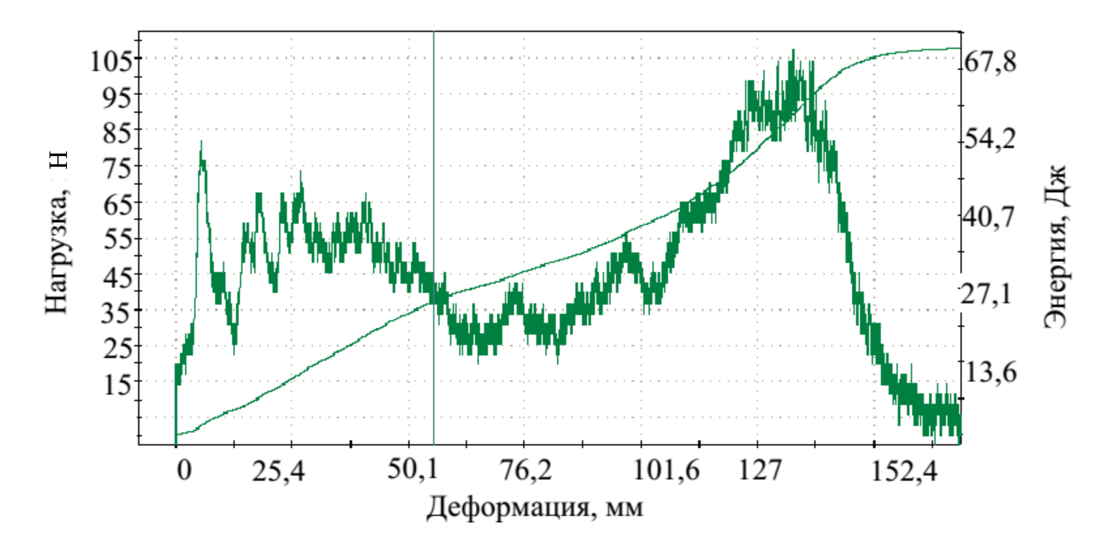


Рис. 3. Зависимости нагрузки и энергии удара от деформации образцов двухслойной упаковки общей толщиной 127 мм со стандартной сотовой структурой при боковом ударе

Как видно из графика, удар не рассеян, при полной деформации образца имеет место сильный удар.

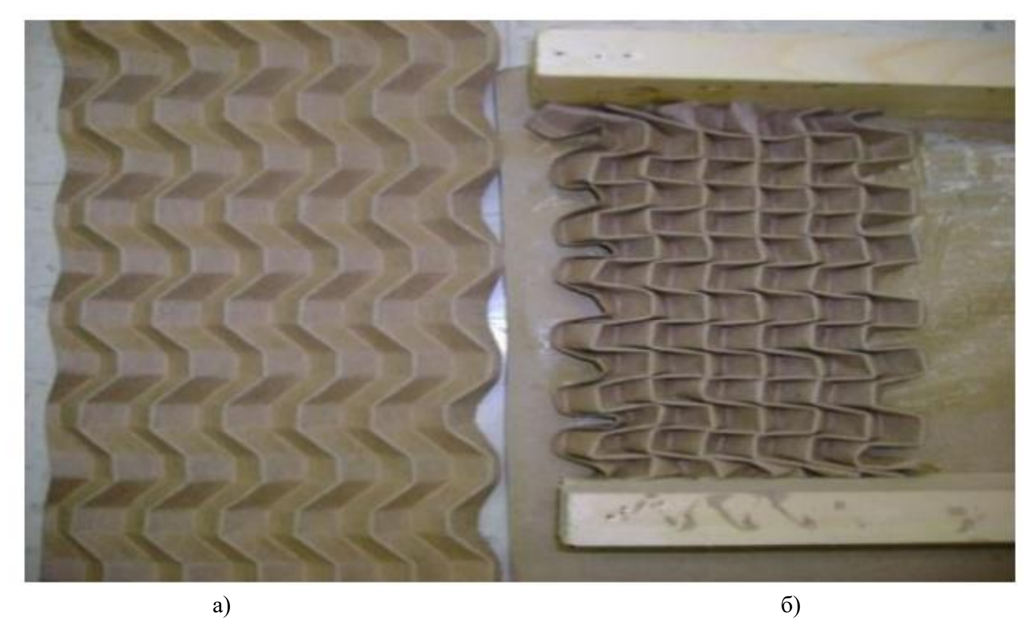
Анализ полученных результатов показывает, что сопротивление соты картонного образца поперечной нагрузке зависит от стороны, на которую придется удар. Разница в показателях существенна. В обоих случаях образцы разрушились.

На рис. 3 в точке деформации 160 мм энергия удара примерно соответствует 60 Дж, что недопустимо. Очевидно, что для создания эффективного образца картонной упаковки, способного амортизировать как поперечную, так и продольную соте нагрузку, необходимо менять структуру гофрирования. Для создания упаковки более эффективной, чем представленные выше, было решено изменить форму соты на M- и S-образную и применить их совместно [3, 6].

Для создания образцов с MS-профилем использовался силовой картон плотностью 0,06 гр/см^2. Данный материал широко используется в виде рулонов шириной 190 мм [10].

Рулон подготовленного картона устанавливается на раскате. (Конструкция раската включает рулонодержатель с приводом перемещения по высоте и по ширине закрепляемого рулона.) Затем картон поступает на разогрев и увлажнение, а после этого — к валам узла гофрирования. Здесь пластиковые вальцы постепенно формируют MS-профиль ячеек [11].

Затем гофрированный участок отрезается на необходимую длину, и путем сжатия образца происходит окончательное формирование профиля соты (рис. 4). После склеивания образцов заданной высоты производится подрезка в размер (127 × 127 мм), образец высушивается и взвешивается.



а) б)

Рис. 4. MS-профилированный картон: до сжатия (а), после сжатия (б)

Для испытаний было подготовлено 6 образцов разной толщины — с разным количеством слоев: один, два, три, пять, семь, девять. Один лист состоял из 24 слоев. Каждый эксперимент повторялся по три раза.

Исходя из проведенных ранее исследований [7], наибольший интерес представляют испытания трехслойного MS-образца. Результаты сведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты испытания образца трехслойной MS-упаковки общей толщиной 38,1 мм

№	Максимальная нагрузка, Н	Деформация при максимальной нагрузке, мм	Энергия удара при максимальной нагрузке, Дж	Суммарная энергия удара, Дж	Скорость, м/с
1	418	16,3	50,4	65,5	3,5
2	392,8	17,3	44,3	65,4	3,5
3	398,8	16,8	49,1	65,4	3,5

Графически эти данные представлены на рис. 5

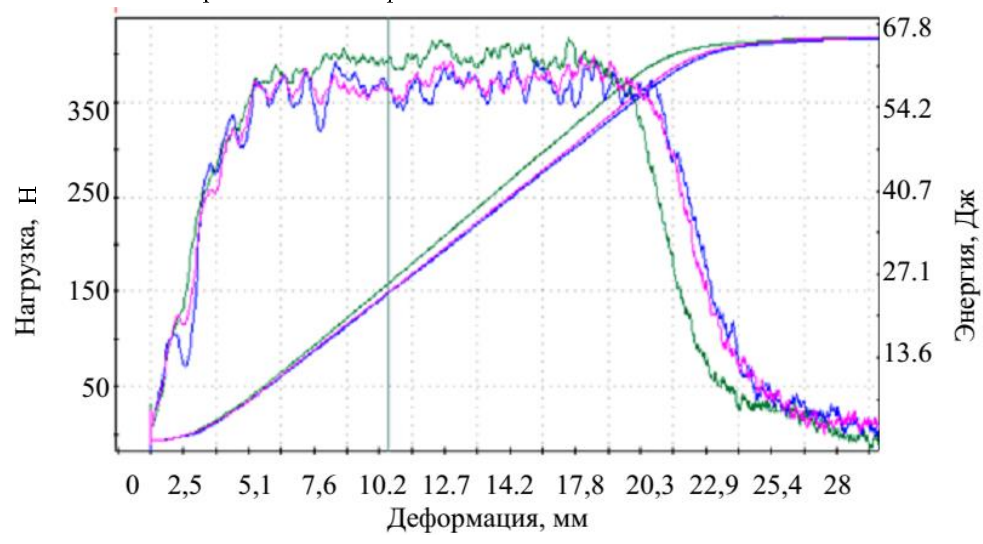


Рис. 5. Зависимости нагрузки и энергии удара от деформации трехслойного MS-образца общей толщиной 38,1 мм

Толщина образца достаточна, чтобы рассеять энергию удара. Деформация составила 73 % от общей толщины. Образец перспективен.

Результаты испытаний пятислойного MS-образца представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты испытания образца пятислойной MS-упаковки общей толщиной 51 мм

№	Максимальная нагрузка, Н	Деформация при максимальной нагрузке, мм	Энергия удара при максимальной нагрузке, Дж	Суммарная энергия удара, Дж	Скорость, м/с
1	327,3	15,5	33	66,5	3,5
2	349,7	11,2	25	66,7	3,5
3	313	15	32,1	67,2	3,5

Толщина образца достаточна, чтобы рассеять энергию удара. Деформация составила 65 % от общей толщины. Образец перспективен.

Высота девятислойного MS-образца сопоставима с высотой стандартного «сотового» образца общей толщиной 127 мм. Как уже говорилось ранее, это лучший по амортизирующим характеристикам образец стандартной упаковки с сотовой структурой.

Следующие испытания проводились для выяснения амортизирующих свойств картонной упаковки при действии боковой нагрузки. Образцы с MS-профилем показали хорошие результаты при амортизации боковой нагрузки. Исследования показали, что трех-, пяти- и девятислойный MS-образцы эффективно рассеивают нагрузки — как боковую, так и вдоль соты. Безусловно, следует учитывать существенную (90 граммов) разницу в весе между девятислойным и пятислойным образцами. При этом амортизирующие свойства пятислойного образца достаточны для рассеива-

ния комбинированной ударной нагрузки. Следовательно, исходя из соотношения цена/амортизация, наиболее рационально использование пятислойной MS-упаковки общей толщиной 51 мм. Деформировавшись на 33 мм, образец полностью рассеял энергию удара вдоль соты.

Выводы. Сравнивая амортизирующие и массово-габаритные характеристики испытанных образцов, можно сказать, что MS-профиль является перспективной альтернативой картонной упаковкой со стандартной сотовой структурой. Проведенные исследования показали эффективность применения гофрированного картона с MS-профилем в три и пять слоев по сравнению со стандартным сотовым картоном такой же толщины. Применение семи- и девятислойного картона нецелесообразно, т. к. при амортизации вертикальной и горизонтальной нагрузки его преимущество незначительно.

Библиографический список

1. Упаковка пищевых продуктов / под ред. Р. Коулза. — Санкт-Петербург : Профессия, 2008. — 416 с.
2. Heimbs, S. Honeycomb sandwich material modeling for dynamic simulations of aircraft interior components / S. Heimbs, P. Middendorf, M. Maier // Proceedings of the 9th international LS-DYNA users conference. — Dearborn, 2006. — P. 201–206.
3. Elsayd, E.-A. A Continuous Folding Process for Sheet Materials / E.-A. Elsayd, B.-B. Basily // International Journal of Materials & Product Technology. — 2004. — № 21 (1/2/3). — P. 217–238.
4. Антибас, И. Р. Сравнение амортизирующих свойств гофрированной картонной упаковки разной структуры при действии вертикальной нагрузки / И. Р. Антибас, С. А. Партко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. статей 8-й междунар. науч.-практ. конф. 3—6 марта 2015 г. в рамках 18-й междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2015». — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 232–234.
5. Антибас, И. Р. Демпфирующие свойства гофрированного упаковочного картона сотовой структуры / И. Р. Антибас, С. А. Партко // Инновационные технологии в машиностроении и металлургии : сб. статей VII науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 65–71.
6. Basily, B.-B. Developments in sheet folding technology and applications / B.-B. Basily, E.-A. Elsayd // Proceedings of 2004 the NSF Design, Service and Manufacturing Grantees and Research Conference. — Birmingham, Alabama. — 2004. — January. — P. 6–10.
7. Хенлон, Дж.-Ф. Упаковка и тара: проектирование, технологии, применение / Дж.-Ф. Хенлон, Р.-Дж. Келси, Х.-Е. Форсинио ; под общ. науч. ред. В.-Л. Жавнера. — Санкт-Петербург : Профессия, 2006. — 632 с.
8. Torre, L. Impact testing and simulation of composite sandwich structures / L. Torre, J.-M. Kenny // Composite Structures. — 2000. — Vol. 50, is. 3. — P. 257–256.
9. Impact response of integrated hollow core sandwich composite panels / U. K. Vaidya [et al.] // Composites. Part A : Applied Science & Manufacturing. — 2000. — № 31. — P. 761–772.
10. Ванчаков, М. В. Технологическое оборудование для производства картонной и бумажной тары / М. В. Ванчаков, П. М. Кейзер, В. К. Дубовый. — Санкт-Петербург : ГТУРП, 2014. — 133 с.
11. Bangay, S. From virtual to physical reality with paper folding / S. Bangay // Computational Geometry: Theory and Applications. — 2000. — № 15. — P. 161–174.

References

1. Coles, R., ed. Upakovka pishchevykh produktov. [Food Packaging Technology.] St. Petersburg: Professiya, 2008, 416 p. (in Russian).
2. Heimbs, S. Middendorf, P., Maier, M. Honeycomb sandwich material modeling for dynamic simulations of aircraft interior components. Proceedings of the 9th international LS-DYNA users conference. Dearborn, 2006, pp. 201–206.
3. Elsayd, E.-A., Basily, B.-B. A Continuous Folding Process for Sheet Materials. International Journal of Materials & Product Technology, 2004, no. 21 (1/2/3), pp. 217–238.
4. Antypas, I. R., Partko, S.A. Sravnenie amortiziruyushchikh svoystv gofrirovannoy kartonnoy upakovki raznoy struktury pri deystvii vertikal'noy nagruzki. Sravnenie amortiziruyushchikh svoystv gofrirovannoy kartonnoy upakovki raznoy struktury pri deystvii vertikal'noy nagruzki [Comparison of damping properties of corrugated cardboard packaging of various structures under vertical load action.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 8-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 3—6 marta 2015 g. v ramkakh 18-y mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2015». [State and prospects of development of agricultural machinery: Proc. 8th Int. Sci.-Pract. Conf. 3-6 March, 2015, within the framework of the 18th Int. Agro-industrial Exhibition “Interagromash-2015”.] Rostov-on-Don, 2015, pp. 232–234 (in Russian).
5. Antypas, I. R., Partko, S.A. Dempfiruyushchie svoystva gofrirovannogo upakovochnogo kartona sotovoy struktury. [Damping properties of the corrugated honeycomb packaging board.] Innovatsionnye tekhnologii v mashinostroenii i

metallurgii : sb. statey VII nauch.-prakt. konf. [Innovative technologies in machine building and metallurgy: Proc. VII Sci.-Pract. Conf.] Rostov-on-Don, 2015, pp. 65–71 (in Russian).

6. Basily, B.-B., Elsayd, E.-A. Developments in sheet folding technology and applications. Proceedings of 2004 the NSF Design, Service and Manufacturing Grantees and Research Conference. Birmingham, Alabama, 2004, January, pp. 6–10.
7. Hanlon, J.F., Kelsey, R.J., Forcinio, H.; Zhavner, V.L., ed. Upakovka i tara: proektirovanie, tekhnologii, primenenie. [Packaging and containers: designing, technologies, application.] St. Petersburg: Professiya, 2006, 632 p. (in Russian).
8. Torre, L., Kenny, J.-M. Impact testing and simulation of composite sandwich structures. Composite Structures, 2000, vol. 50, iss. 3, pp. 257–256.
9. Vaidya, U.K., et al. Impact response of integrated hollow core sandwich composite panels. Composites. Part A: Applied Science & Manufacturing, 2000, no. 31, pp. 761–772.
10. Vanchakov, M.V., Keyzer, P.M., Dubovy, V.K. Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya proizvodstva kartonnoy i bumazhnoy tary. [Technological equipment for cardboard and paper packaging production.] St. Petersburg: GTURP, 2014, 133 p. (in Russian).
11. Bangay, S. From virtual to physical reality with paper folding. Computational Geometry: Theory and Applications, 2000, no. 15, pp. 161–174.

Поступила в редакцию 09.09.2015
Сдана в редакцию 09.09.2015
Запланирована в номер 22.01.2016